

## Verfahren zur Fertigung angepasster, strömungstechnischer Oberflächen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Fertigung angepasster, strömungstechnischer Oberflächen.

Gasturbinenschaufeln, insbesondere solche für Flugtriebwerke, werden in der Regel als Schmiedeteile angefertigt, wobei die Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Strömungseintrittskante sowie Strömungsaustrittskante ein Übermaß aufweisen. Sollen derartige Gasturbinenschaufeln zum Beispiel zur Herstellung eines integral beschaukelten Rotors, eines sogenannten Blisk (bladed disk) oder Bling (bladed ring), verwendet werden, so müssen die Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Strömungseintrittskante sowie Strömungsaustrittskante vor der Verbindung derselben mit dem Rotor zur Bereitstellung angepasster, strömungstechnischer Oberflächen im Bereich der Strömungseintrittskante sowie der Strömungsaustrittskante bearbeitet werden.

Nach dem Stand der Technik erfolgt die Bearbeitung der Gasturbinenschaufeln zur Fertigung angepasster, strömungstechnischer Oberflächen im Bereich der Strömungseintrittskante sowie Strömungsaustrittskante dadurch, dass die Gasturbinenschaufeln zum Abtragen des Materialüberschusses vorgefräst werden und anschließend ein manuelles Verrunden erfolgt, um strömungstechnische Oberflächen im Bereich der Strömungseintrittskante sowie Strömungsaustrittskante zu gewährleisten. Das manuelle Verrunden ist zeitaufwendig, kostspielig und nicht reproduzierbar. Ein manuelles Verrunden von Gasturbinenschaufeln zur Bereitstellung angepasster, strömungstechnischer Oberflächen im Bereich der Strömungseintrittskante sowie Strömungsaustrittskante ist demnach insgesamt von Nachteil.

Die DE 199 22 012 C1 betrifft ein Verfahren zur Fertigung angepasster, strömungstechnischer Oberflächen an integral beschaukelten Rotoren. Das dort beschriebene Verfahren kommt zum Einsatz, nachdem Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Strömungseintrittskanten sowie Strömungsaustrittskanten manuell verrundet und mit dem Rotor stoffschlüssig zusammengefügt worden sind. Das Verfahren gemäß DE 199 22 012 C1 dient der Bearbeitung der an den Rotor gefügten Gasturbinenschaufeln im Bereich der Schaufelblätter, also im Bereich einer Saugseite sowie Druckseite derselben. Es dient hingegen nicht der Fertigung strömungstechnischer Oberflächen im Bereich der Strömungseintrittskante sowie Strömungsaustrittskante von Gasturbinenschaufeln vor dem stoffschlüssigen Zusammenfügen der Gasturbinenschaufeln mit einem Rotor.

Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, ein neuartiges Verfahren zur Fertigung angepasster, strömungstechnischer Oberflächen zu schaffen.

Dieses Problem wird durch ein Verfahren zur Fertigung angepasster, strömungstechnischer Oberflächen gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Erfindungsgemäß umfasst das Verfahren zumindest die folgenden Schritte: a) Erzeugen eines Nominalfräsprogramms zur Fertigung strömungstechnischer Oberflächen im Bereich einer Strömungseintrittskante und/oder einer Strömungsaustrittskante für eine ideale Gasturbinenschaufel; b) Vermessen einer realen Gasturbinenschaufel im Bereich einer Strömungseintrittskante und/oder einer Strömungsaustrittskante derselben; c) Erzeugen eines an die reale Gasturbinenschaufel angepassten Fräsprogramms zur Fertigung strömungstechnischer Oberflächen im Bereich der Strömungseintrittskante und/oder der Strömungsaustrittskante für die reale Gasturbinenschaufel, wobei im Schritt b) ermittelte Messwerte zur Anpassung bzw. Änderung des in Schritt a) erzeugten Nominalfräsprogramms in das Fräsprogramm für die reale Gasturbinenschaufel verwendet werden; d) Fertigen der strömungstechnischen Oberflächen an der realen Gasturbinenschaufeln im Bereich der Strömungseintrittskante und/oder der Strömungsaustrittskante durch Fräsen unter Verwendung des in Schritt c) erzeugten Fräsprogramms, wobei in einem ersten Teilschritt durch Grobfräsen, insbesondere durch Schrappen, Material im Bereich der Strömungseintrittskante und/oder der Strömungsaustrittskante abgetragen wird, und wobei in einem sich hieran anschließenden zweiten Teilschritt durch Feinfräsen, insbesondere durch Schlichten, die Strömungseintrittskante und/oder die Strömungsaustrittskante automatisch verrundet wird.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren vorgeschlagen, mithilfe dessen Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Strömungseintrittskante sowie Strömungsaustrittskante voll automatisiert bearbeitet werden können. Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung erfolgt das Abtragen von Material im Bereich der Strömungseintrittskante und Strömungsaustrittskante sowie das Verrunden derselben voll automatisch durch Fräsen, sodass auf das nach dem Stand der Technik erforderliche, manuelle Verrunden von Hand verzichtet werden kann. Hierdurch wird der Zeitaufwand sowie Kostenaufwand bei der Herstellung strömungstechnischer Oberflächen an Gasturbinenschaufeln deutlich reduziert. Weiterhin lassen sich reproduzierbare Fertigungsergebnisse erzielen.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird die reale Gasturbinenschaufel derart vermessen, dass im Bereich der Strömungseintrittskante und im Bereich der Strömungsaustrittskante an einer Saugseite und an einer Druckseite der Gasturbinenschaufel jeweils eine Messpunktreihe ermittelt wird, wobei jede dieser vier Messpunktfolgen aus mehreren über die Höhe bzw. Länge der Strömungseintrittskante bzw. der Strömungsaustrittskante verteilten Messpunkten gebildet ist. Die im Bereich der Saugseite ermittelten Messpunktfolgen werden zur Änderung der die Strömungseintrittskante und die Strömungsaustrittskante betreffenden Nominalfräsbahnen im Bereich der Saugseite derart verwendet, dass jeder Nominalbahnpunkt dieser Nominalfräsbahnen, für den ein entsprechender Messpunkt vorliegt, um den Betrag der Abweichung zwischen der idealen Gasturbinenschaufel und der realen Gasturbinenschaufel im Bereich der Saugseite verschoben wird. Für Nominalbahnpunkte dieser Nominalfräsbahnen, für die kein entsprechender Messpunkt vorliegt, wird eine Interpolation durchgeführt. Für die Druckseite wird analog vorgegangen. Für zwischen den Nominalfräsbahnen der Saugseite und den Nominalfräsbahnen der Druckseite vorliegende Nominalfräsbahnen wird zur Anpassung derselben an die reale Gasturbinenschaufel ebenfalls eine Interpolation durchgeführt.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung. Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird, ohne hierauf beschränkt zu sein, an Hand der Zeichnung näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 einen Ausschnitt aus einem schematisierten Querschnittsprofil einer Gasturbinenschaufel im Bereich einer Strömungseintrittskante der Gasturbinenschaufel.

Nachfolgend wird die hier vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf Fig. 1 in größerem Detail beschrieben.

Fig. 1 zeigt einen Ausschnitt aus einer Gasturbinenschaufel 10 im Querschnitt. So ist in Fig. 1 eine Druckseite 11 sowie eine Saugseite 12 der Gasturbinenschaufel 10 sowie eine Strömungseintrittskante 13 derselben gezeigt, welche einen Übergang zwischen der Druckseite 11 sowie der Saugseite 12 der Gasturbinenschaufeln 10 bereitstellt. Eine am gegenüberliegenden Ende der Gasturbinenschaufel 10 vorhandene Strömungsaustrittskante, die ebenfalls einen Übergang zwischen der Druckseite 11 und der Saugseite 12 bereitstellt, ist in Fig. 1 nicht dargestellt.

Wie Fig. 1 entnommen werden kann, verfügt die vorzugsweise als Schmiedeteil ausgebildete Gasturbinenschaufel 10 im Bereich ihrer Strömungseintrittskante 13 im Rohzustand über ein Übermaß 14. Es liegt nun im Sinne der hier vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zur Fertigung angepasster, strömungstechnischer Oberflächen an Gasturbinenschaufeln im Bereich ihrer Strömungseintrittskante sowie Strömungsaustrittskante vorzuschlagen, mithilfe dessen einerseits das Übermaß 14 automatisiert entfernt wird und mithilfe dessen andererseits nach dem Entfernen des Übermaßes 14 ein automatisches Verrunden der Gasturbinenschaufel 10 im Bereich der Strömungseintrittskante sowie Strömungsaustrittskante erfolgt, um so voll automatisch ohne manuelle Bearbeitung angepasste, strömungstechnische Oberflächen im Bereich der Strömungseintrittskante sowie der Strömungsaustrittskante zu fertigen.

Im Sinne des erfindungsgemäßen Verfahrens wird in einem ersten Schritt ein Nominalfräsprogramm zur Fertigung strömungstechnischer Oberflächen im Bereich einer Strömungseintrittskante sowie einer Strömungsaustrittskante für eine ideale Gasturbinenschaufel erzeugt. Das Nominalfräsprogramm umfasst sowohl im Bereich der Strömungseintrittskante als auch im Bereich der Strömungsaustrittskante für die ideale Gasturbinenschaufel mehrere Nominalfräsbahnen. So liegen sowohl im Bereich der Strömungseintrittskante als auch im Bereich der Strömungsaustrittskante jeweils eine Nominalfräsbahn im Bereich der Saugseite, jeweils eine Nominalfräsbahn im Bereich der Druckseite, sowie vorzugsweise mehrere zwischen diesen beiden Nominalfräsbahnen geschaltete Nominalfräsbahnen für den Übergangsbereich zwischen der Saugseite und der Druckseite vor. Jede dieser Nominalfräsbahnen für die ideale Gasturbinenschaufel umfasst mehrere Nominalbahnpunkte.

Um nun dieses Nominalfräsprogramm für die ideale Gasturbinenschaufel an eine reale Gasturbinenschaufel anzupassen, wird in einem zweiten Schritt eine reale, im Bereich der Strömungseintrittskante sowie der Strömungsaustrittskante zu bearbeitende Gasturbinenschaufel vermessen. Die reale Gasturbinenschaufeln wird dabei derart vermessen, dass sowohl in Bereich der Strömungseintrittskante als auch in Bereich der Strömungsaustrittskante an der Saugseite sowie an der Druckseite der Gasturbinenschaufel jeweils eine Messpunktreihe ermittelt wird. Demzufolge werden demnach insgesamt vier Messpunktreihen ermittelt. Eine Messpunktreihe für die Strömungseintrittskante im Bereich der Druckseite, eine Messpunktreihe für die Strömungseintrittskante im Bereich der Saugseite, eine Messpunktreihe für die Strömungsaustrittskante im Bereich der Druckseite sowie eine weitere Messpunktreihe für die Strömungsaustrittskante im Bereich der

Saugseite. Jede dieser vier Messpunktzeilen verfügt über eine Vielzahl von Messpunkten, die über die Höhe bzw. Länge der Strömungseintrittskante sowie der Strömungsaustrittskante verteilt sind. Die bei der Vermessung der realen Gasturbinenschaufel ermittelten Messpunktzeilen werden in einem dritten Schritt zur Anpassung des Nominalfräsprogramms an die reale Gasturbinenschaufel und damit zur Ermittlung eines Fräsprogramms für die Gasturbinenschaufel verwendet.

Nach dem Vermessen der realen Gasturbinenschaufeln wird demnach ein an die reale Gasturbinenschaufel angepasstes Fräsprogramm zur Fertigung strömungstechnischer Oberflächen in Bereich der Strömungseintrittskante sowie der Strömungsaustrittskante der realen Gasturbinenschaufel erzeugt, wobei die bei der Vermessung der realen Gasturbinenschaufel ermittelten Messwerte bzw. Messpunktzeilen zur Änderung des für die ideale Gasturbinenschaufel erzeugten Nominalfräsprogramms verwendet werden. Hierzu werden demnach einerseits das Nominalfräsprogramm und andererseits die bei der Vermessung der realen Gasturbinenschaufel ermittelten Messwerte derart miteinander verrechnet, dass als Ergebnis ein Fräsprogramm für die reale Gasturbinenschaufel vorliegt.

Zur Vereinfachung der Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens soll nachfolgend davon ausgegangen werden, dass zur Fertigung strömungstechnischer Oberflächen im Bereich der in Fig. 1 dargestellten Strömungseintrittskante 13 der realen Gasturbinenschaufel 10 ein Fräsprogramm mit insgesamt fünf Fräsbahnen ermittelt wird, nämlich mit einer Fräsbahn 15 im Bereich der Druckseite 11, mit einer Fräsbahn 16 im Bereich der Saugseite 12 sowie mit insgesamt drei zwischen diesen beiden Fräsbahnen 15 und 16 geschalteten Fräsbahnen 17 für den Übergang zwischen der Druckseite 11 und der Saugseite 12. Diese fünf Fräsbahnen 15, 16 und 17 werden, wie bereits oben dargestellt, einerseits aus den entsprechenden Nominalfräsbahnen der idealen Gasturbinenschaufel sowie aus zwei Messpunktzeilen erzeugt, die sich aus einer Vermessung der realen Gasturbinenschaufel an der Strömungseintrittskante 13 im Bereich der Saugseite 12 sowie der Druckseite 11 ergeben.

Zur Ermittlung der Fräsbahn 15 im Bereich der Druckseite 11 der realen Gasturbinenschaufel 10 wird nun im Sinne der Erfindung die korrespondierende Nominalfräsbahn der idealen Gasturbinenschaufel mit der im Bereich der Strömungseintrittskante 13 an der Druckseite 11 ermittelten Messpunktzeile verrechnet. Hierzu wird für jeden vorhandenen Messpunkt eine Abweichung zwischen der idealen Gasturbinenschaufel und der realen Gasturbinenschaufel ermittelt. So dann wird für jeden Nominalbahnpunkt der

korrespondierenden Nominalfräsbahn, für welchen ein entsprechender Messpunkt vorliegt, der Nominalbahnpunkt um den Betrag der Abweichung zwischen der idealen Gasturbinenschaufel und der realen Gasturbinenschaufel verschoben. Für Nominalbahnpunkte, für welche kein entsprechender Messpunkt vorliegt, erfolgt eine Interpolation, nämlich eine Spline-Interpolation, zwischen den Nominalbahnpunkten, für die entsprechende Messwerte vorliegen. Auf diese Art und Weise wird demnach die Fräsbahn 15 für die Strömungseintrittskante 13 im Bereich der Druckseite 11 ermittelt.

Entsprechend wird bei der Ermittlung der Fräsbahn 16 im Bereich der Saugseite 12 vorgegangen. Auch für diese Fräsbahn 16 wird eine korrespondierende Nominalfräsbahn mit der Messpunktreihe für die Strömungseintrittskante 13 im Bereich der Saugseite 12 verrechnet. Die im Bereich der Saugseite 12 ermittelte Messpunktreihe der Strömungseintrittskante 13 wird dabei derart zur Änderung der jeweiligen Nominalfräsbahn verwendet, dass jeder Nominalbahnpunkt der jeweiligen Nominalfräsbahn, für den ein entsprechender Messpunkt vorliegt, um den Bereich der Abweichung zwischen der idealen Gasturbinenschaufel und der realen Gasturbinenschaufel im Bereich der Saugseite 12 verschoben wird. Für Nominalbahnpunkte der jeweiligen Nominalfräsbahn, für die kein entsprechender Messpunkt vorliegt, wird wiederum eine Spline-Interpolation durchgeführt. Auf diese Art und Weise wird demnach die Fräsbahn 16 für die Strömungseintrittskante 13 im Bereich der Saugseite 12 erzeugt.

Wie bereits oben erwähnt, sind zur Fertigung der Strömungseintrittskante 13 im Ausführungsbeispiel der Fig. 1 insgesamt fünf Fräsbahnen 15, 16 und 17 erforderlich, wobei jedoch lediglich für die Fräsbahnen 15 und 16 im Bereich der Druckseite 11 bzw. Saugseite 12 Messpunktfolgen vorliegen. Für die Nominalfräsbahnen, die den Übergangsbereich zwischen der Druckseite 11 und der Saugseite 12 betreffen, liegen keine derartigen Messpunktfolgen vor. Daher werden zur Ermittlung der Fräsbahnen 17 der realen Gasturbinenschaufel, die der Fertigung der Oberflächen im Übergangsbereich zwischen Druckseite 11 und Saugseite 12 dienen, Interpolationen zwischen den Messpunktfolgen im Bereich der Druckseite 11 sowie Saugseite 12 durchgeführt. Auch hierbei handelt es sich um Spline-Interpolationen.

Die auf die obige Art und Weise aus den Nominalfräsbahnen der idealen Gasturbinenschaufel und den Messpunktfolgen der realen Gasturbinenschaufel ermittelten Fräsbahnen für die reale Gasturbinenschaufel bilden ein Fräsprogramm, wobei unter Verwendung dieses Fräsprogramms in einem vier-

ten Schritt die strömungstechnischen Oberflächen an der realen Gasturbinenschaufel gefertigt werden.

In einem ersten Teilschritt erfolgt dabei durch Grobfräsen das Entfernen des Übermaßes 14; in einem nachgeschalteten, zweiten Teilschritt erfolgt durch Feinfräsen das automatische Verrunden der Strömungseintrittskante 13 zur Bereitstellung der strömungstechnischen Oberfläche. Das Grobfräsen wird auch als Schruppen, das Feinfräsen wird auch als Schlichten bezeichnet. Die oben beschriebene Ermittlung der Fräsbahnen für die reale Gasturbinenschaufel betrifft die Fräsbahnen für das Feinfräsen, also für das automatische Verrunden der Gasturbinenschaufeln im Bereich der Strömungseintrittskanten sowie Strömungsaustrittskanten.

Im Anschluss an die obige Herstellung bzw. Fertigung der angepassten, strömungstechnischen Oberflächen können die Gasturbinenschaufeln durch lineares Reibschweißen an einen Rotor gefügt werden. Auch ist es möglich die Oberflächen der Gasturbinenschaufeln zum Beispiel durch chemisch unterstütztes Gleitschleifen einer Nachbearbeitung zu unterziehen.

## Patentansprüche

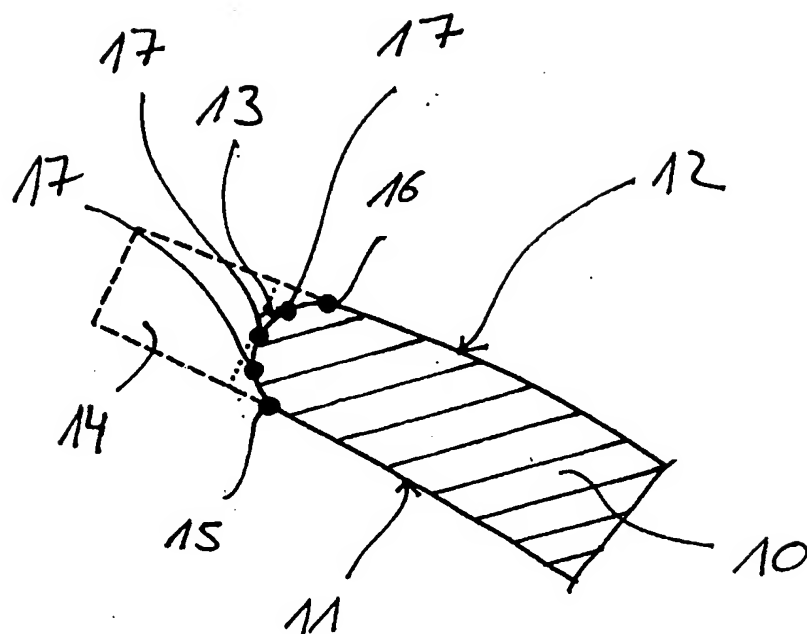
1. Verfahren zur Fertigung angepasster, strömungstechnischer Oberflächen an Gasturbinenschaufeln im Bereich einer Strömungseintrittskante und/oder einer Strömungsaustrittskante einer Gasturbinenschaufel, gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - a) Erzeugen eines Nominalfräsprogramms zur Fertigung strömungstechnischer Oberflächen im Bereich einer Strömungseintrittskante und/oder einer Strömungsaustrittskante für eine ideale Gasturbinenschaufel;
  - b) Vermessen einer realen Gasturbinenschaufel im Bereich einer Strömungseintrittskante und/oder einer Strömungsaustrittskante;
  - c) Erzeugen eines an die reale Gasturbinenschaufel angepassten Fräsprogramms zur Fertigung strömungstechnischer Oberflächen im Bereich der Strömungseintrittskante und/oder der Strömungsaustrittskante für die reale Gasturbinenschaufel, wobei im Schritt b) ermittelte Messwerte zur Anpassung des in Schritt a) erzeugten Nominalfräsprogramms in das Fräsprogramm für die reale Gasturbinenschaufel verwendet werden;
  - d) Fertigen der strömungstechnischen Oberflächen an der realen Gasturbinenschaufeln im Bereich der Strömungseintrittskante und/oder der Strömungsaustrittskante durch Fräsen unter Verwendung des in Schritt c) erzeugten Fräsprogramms, wobei in einem ersten Teilschritt durch Grobfräsen, insbesondere durch Schruppen, Material im Bereich der Strömungseintrittskante und/oder der Strömungsaustrittskante abgetragen wird, und wobei in einem sich hieran anschließenden zweiten Teilschritt durch Feinfräsen, insbesondere durch Schlichten, die Strömungseintrittskante und/oder die Strömungsaustrittskante automatisch verrundet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt b) die reale Gasturbinenschaufel derart vermessen wird, dass im Bereich der Strömungseintrittskante und/oder im Bereich der Strömungsaustrittskante an einer Saugseite und an einer Druckseite der Gasturbinenschaufel jeweils eine Messpunktreihe ermittelt wird, wobei jede Messpunktreihe aus mehreren über die Höhe bzw. die Länge der Strömungseintrittskante und/oder der Strömungsaustrittskante verteilten Messpunkten gebildet ist.



3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt c) für jeden Messpunkt eine Abweichung zwischen der idealen Gasturbinenschaufel und der realen Gasturbinenschaufel ermittelt wird, wobei diese Abweichungen verwendet werden, um das Nominalfräsprogramm in das Fräsprogramm für die reale Gasturbinenschaufel abzuändern.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Nominalfräsprogramm für den Bereich der Strömungseintrittskante und/oder den Bereich der Strömungsaustrittskante mehrere Nominalfräsbahnen umfasst, nämlich jeweils eine Nominalfräsbahn im Bereich der Saugseite, jeweils eine Nominalfräsbahn im Bereich der Druckseite und jeweils mindestens eine zwischen diesen beiden Nominalfräsbahnen geschaltete Nominalfräsbahn für einen Übergangsbereich zwischen der Saugseite und der Druckseite, wobei jede der Nominalfräsbahnen mehrere Nominalbahnpunkte umfasst.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die oder jede im Bereich der Saugseite ermittelte Messpunktreihe zur Änderung der jeweiligen Nominalfräsbahn im Bereich der Saugseite derart verwendet wird, dass jeder Nominalbahnpunkt der jeweiligen Nominalfräsbahn, für den ein entsprechender Messpunkt vorliegt, um den Betrag der Abweichung zwischen der idealen Gasturbinenschaufel und der realen Gasturbinenschaufel im Bereich der Saugseite verschoben wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass für Nominalbahnpunkte der jeweiligen Nominalfräsbahn, für die kein entsprechender Messpunkt vorliegt, eine Interpolation durchgeführt wird.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die oder jede im Bereich der Druckseite ermittelte Messpunktreihe zur Änderung der jeweiligen Nominalfräsbahn im Bereich der Druckseite derart verwendet wird, dass jeder Nominalbahnpunkt der jeweiligen Nominalfräsbahn, für den ein entsprechender Messpunkt vorliegt, um den Betrag der Abweichung zwischen der idealen Gastur-

binenschaufel und der realen Gasturbinenschaufel im Bereich der Druckseite verschoben wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass für Nominalbahnpunkte die jeweiligen Nominalfräsbahn, für die kein entsprechender Messpunkt vorliegt, eine Interpolation durchgeführt wird.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass für die oder jede zwischen der jeweiligen Nominalfräsbahn der Saugseite und der jeweiligen Nominalfräsbahn der Druckseite vorliegende Nominalfräsbahn zur Anpassung derselben an die reale Gasturbinenschaufel eine Interpolation durchgeführt wird.
10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass zur Fertigung strömungstechnischer und stetiger Oberflächen im Bereich der Strömungseintrittskante und/oder der Strömungsaustrittskante Spline-Interpolationen durchgeführt werden.

Fig. 1

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. September 2005 (01.09.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/080754 A3**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
G05B 19/4093 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2005/000222

(22) Internationales Anmeldedatum:  
10. Februar 2005 (10.02.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2004 008 027.5  
19. Februar 2004 (19.02.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): MTU AERO ENGINES GMBH [DE/DE];  
Dachacur Strasse 665, 80995 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GLÄSSER, Arndt  
[DE/DE]; Olchinger Strasse 45, 85221 Dachau (DE).

HEINRICH, Stefan [DE/DE]; Selibertstrasse 7, 82276  
Adelshofen (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: MTU AERO ENGINES  
GMBH; Intellectual Property Management (ASI), Post-  
fach 50 06 40, 80976 München (DE).

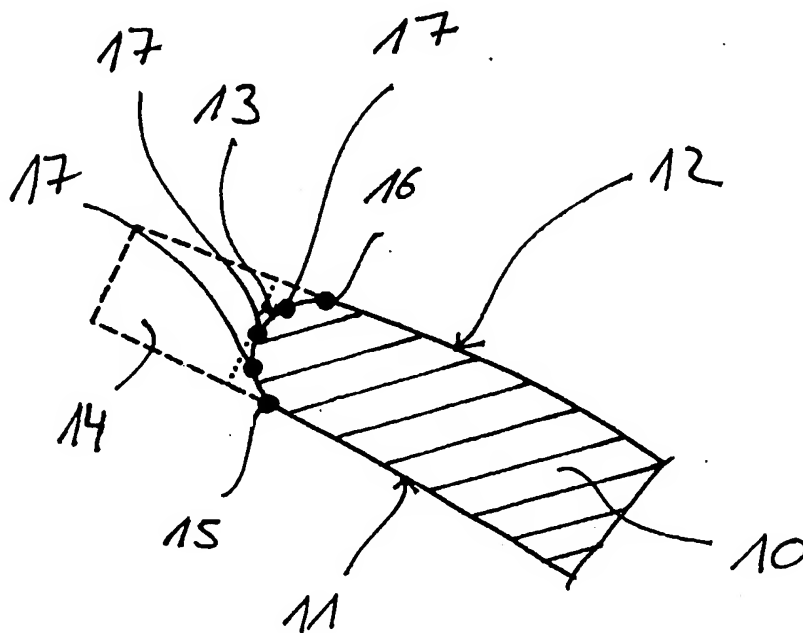
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY,  
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU,  
ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING ADAPTED FLOW SURFACES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR FERTIGUNG ANGEPASSTER, STRÖMUNGSTECHNISCHER OBERFLÄCHEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for producing adapted flow surfaces in the area of a flow entry edge (13) and/or of a flow exit edge of a gas turbine blade. The method comprises at least the following steps: a) creating a nominal milling program for producing flow surfaces in the area of a flow entry edge (13) and/or of a flow exit edge for an ideal gas turbine blade; b) measuring a real gas turbine blade in the area of a flow entry edge (13) and/or of a flow exit edge for the real gas turbine blade; c) creating a milling program, which is adapted to the real gas turbine blade and is used for producing flow surfaces in the area of the flow entry edge (13) and/or of the flow exit edge for the real gas turbine blade, whereby measured values determined in step b) are used for adapting the nominal milling program created in step a) into the milling program for the real gas turbine blade, and;

d) producing the flow surfaces on the real gas turbine blades in the area of the flow entry edge (13) and/or of a flow exit edge by milling while using the milling program created in step c), during which, in a first partial step, material in the area of the flow entry edge (13) and/or of the flow exit edge is removed by coarse milling, particularly by roughing and, in a following second partial step, the flow entry edge (13) and/or flow exit edge are/is automatically chamfered by fine milling, particularly by smoothing.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/080754 A3



GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen  
Recherchenberichts:

29. Juni 2006

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**(57) Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Fertigung angepasster, strömungstechnischer Oberflächen im Bereich einer Strömungseintrittskante (13) und/oder einer Strömungsaustrittskante einer Gasturbinenschaufel. Das Verfahren umfasst zumindest die folgenden Schritte: a) Erzeugen eines Nominalfräsprogramms zur Fertigung strömungstechnischer Oberflächen im Bereich einer Strömungseintrittskante (13) und/oder einer Strömungsaustrittskante für eine ideale Gasturbinenschaufel; b) Vermessen einer realen Gasturbinenschaufel im Bereich einer Strömungseintrittskante (13) und/oder der Strömungsaustrittskante für die reale Gasturbinenschaufel, wobei im Schritt b) ermittelte Messwerte zur Anpassung des in Schritt a) erzeugten Nominalfräsprogramms in das Fräsprogramm für die reale Gasturbinenschaufel verwendet werden; d) Fertigen der strömungstechnischen Oberflächen an der realen Gasturbinenschaufeln im Bereich der Strömungseintrittskante (13) und/oder der Strömungsaustrittskante durch Fräsen unter Verwendung des in Schritt c) erzeugten Fräsprogramms, wobei in einem ersten Teilschritt durch Grobfräsen, insbesondere durch Schruppen, Material im Bereich der Strömungseintrittskante (13) und/oder der Strömungsaustrittskante abgetragen wird, und wobei in einem sich hieran anschliessenden zweiten Teilschritt durch Feinfräsen, insbesondere durch Schlichten, die Strömungseintrittskante (13) und/oder die Strömungsaustrittskante automatisch verrundet werden.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PC/DE2005/000222

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> G05B19/4093		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G05B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 453 391 A (UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION) 23 October 1991 (1991-10-23) column 1, line 7 - line 15 column 1, line 49 - line 51 column 8, line 30 - line 38 column 10, line 10 - column 11, line 25 claims; figures column 11, line 26 - line 38	1-10
A	US 4 755 952 A (JOHNS ET AL) 5 July 1988 (1988-07-05) column 6, line 57 - column 7, line 44 column 11, line 6 - line 32	1-10
A	US 4 382 215 A (BARLOW ET AL) 3 May 1983 (1983-05-03) abstract column 13, line 18 - line 58 claims 1,6	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents:		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>*G* document member of the same patent family</p> </div> </div>		
Date of the actual completion of the international search  30 January 2006		Date of mailing of the international search report  23/02/2006
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Salvador, D

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2005/000222

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0453391	A	23-10-1991	DE 69113502 D1	09-11-1995
			DE 69113502 T2	14-03-1996
			IE 911279 A1	23-10-1991
			IL 97879 A	27-02-1994
			JP 3101341 B2	23-10-2000
			JP 4226859 A	17-08-1992
			KR 174275 B1	18-02-1999
			US 5055752 A	08-10-1991
US 4755952	A	05-07-1988	CA 1269742 A1	29-05-1990
			DE 3685150 D1	11-06-1992
			EP 0199962 A2	05-11-1986
			JP 61226604 A	08-10-1986
US 4382215	A	03-05-1983	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2005/000222

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
G05B19/4093

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 453 391 A (UNITED TECHNOLOGIES CORPORATION) 23. Oktober 1991 (1991-10-23) Spalte 1, Zeile 7 - Zeile 15 Spalte 1, Zeile 49 - Zeile 51 Spalte 8, Zeile 30 - Zeile 38 Spalte 10, Zeile 10 - Spalte 11, Zeile 25 Ansprüche; Abbildungen Spalte 11, Zeile 26 - Zeile 38	1-10
A	US 4 755 952 A (JOHNS ET AL) 5. Juli 1988 (1988-07-05) Spalte 6, Zeile 57 - Spalte 7, Zeile 44 Spalte 11, Zeile 6 - Zeile 32	1-10
A	US 4 382 215 A (BARLOW ET AL) 3. Mai 1983 (1983-05-03) Zusammenfassung Spalte 13, Zeile 18 - Zeile 58 Ansprüche 1,6	1-10

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

30. Januar 2006

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

23/02/2006

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Salvador, D



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PC/DE2005/000222

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0453391 A	23-10-1991	DE 69113502 D1	09-11-1995
		DE 69113502 T2	14-03-1996
		IE 911279 A1	23-10-1991
		IL 97879 A	27-02-1994
		JP 3101341 B2	23-10-2000
		JP 4226859 A	17-08-1992
		KR 174275 B1	18-02-1999
		US 5055752 A	08-10-1991
US 4755952 A	05-07-1988	CA 1269742 A1	29-05-1990
		DE 3685150 D1	11-06-1992
		EP 0199962 A2	05-11-1986
		JP 61226604 A	08-10-1986
US 4382215 A	03-05-1983	KEINE	